

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005635

中央空调远程控制及计费系统的研制*

黄永旺¹ 张卓² 王新¹ 张青林¹

(1. 华中师范大学 武汉 430079; 2. 上海航天电子技术研究所 上海 201109)

摘要: 针对中央空调体系庞大,难以进行远程控制,分摊计费等问题,基于嵌入式平台,使用 B/S 架构,设计并实现了具备分摊计费功能的中央空调控制管理系统。从硬件的接口设计,软件的通信流程剖析,到计费算法的改良等方向详细地阐述了该系统的设计思想。该系统使用 B/S 架构,在满足跨平台设备使用的同时降低了部署复杂度;搭配 FPGA,在保证通信速率的同时,将可接入设备拓展到 4 096 台;采用 SQLite 数据库配合改良后的计费算法,完成分摊计费存储显示等功能。实际运行表明,该系统远程控制功能高效稳定,分摊计费功能合理精准,很好地解决了当前中央空调管理系统所面临的问题。

关键词: 嵌入式;B/S 架构;FPGA;计费算法;SQLite

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

Development of remote control and billing system for central air-conditioning

Huang Yongwang¹ Zhang Zhuo² Wang Xin¹ Zhang Qinglin¹

(1. Central China Normal University, Wuhan 430079, China; 2. Shanghai Aerospace Electronic Technology Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: In view of the huge central air-conditioning system, it is difficult to carry out remote control, sharing billing and other issues, this article is based on the embedded platform, using B/S architecture, design and implement a central air-conditioning control management system with sharing billing function. From the hardware interface design, software communication process analysis, to the improvement of the charging algorithm, the design idea of the system is elaborated. The system uses the B/S architecture, which reduces the complexity of deployment while satisfying the use of cross-platform equipment. With FPGA, while ensuring the communication rate, expand the accessible devices to 4 096 units. Use SQLite database and improved charging algorithm to complete functions such as apportioned charging storage display. The actual operation shows that the remote control function of the system is efficient and stable, and the apportionment billing function is reasonable and accurate, which solves the problems faced by the current central air-conditioning management system.

Keywords: embedded;B/S architecture;FPGA;billing algorithm;SQLite

0 引言

中央空调部署在大型写字楼时,因其体系庞大、结构复杂,使得人们对于中央空调的管理也相应变得困难。而且中央空调具有集中供能,分散使用的特点,这就使得相应的管理系统需要具备远程控制,电费分摊这两项重要的功能。

针对中央空调的上述特点,许多学者提出了自己的解决方案^[1]。目前大多数中央空调还采用微型计算机进行集中式管理,配合上位机软件和可编程逻辑控制器(PLC)控

制器进行控制^[2]。后续有学者利用嵌入式技术对 PLC 的比例积分微分(PID)算法进行改进,实现中央空调冷冻水系统的模糊 PID 控制^[3]。但是该控制系统的微型计算机功耗高,费用昂贵,上位机软件移植性差,功能单一,难以实现远程监控,计费分摊等需求。

随着嵌入式技术的发展,该系统的管理平台也从微型计算机逐步转移到嵌入式系统。凭借 ARM 处理器和 Linux 系统的优点,可在嵌入式平台上利用 LCD 屏幕,图形程序,控制程序,来实现中央空调管理^[4]。但该系统采用串行通信的

收稿日期:2020-12-30

* 基金项目:华中师范大学中央高校基本科研业务费(CCN16A05028)资助

方式,在通信的实时性和控制数量上存在取舍问题。

随着物联网技术的兴起,以 STM32 搭配窄带物联网(NB-IoT)的无线通信技术也开始进入中央空调的控制领域^[5]。该方式可以成功解决通信的实时性和控制数量上的取舍问题。但是随着空调室内机数量的增加,云服务器及控制器的成本也会相应增加,而且对于现有中央空调控制器的兼容性较差。

总的来说,目前上述方案均缺乏实用的分摊计费策略。分摊计费策略主要为按面积分摊和分户计费两种方式。但按面积分摊进行收费容易形成恶性使用,而且容易增加中央空调的运行负荷提高维护成本。当前的计费方案大多对分户计费模式进行设计。刘国文等^[6]利用 Zigbee 技术完成分户计费系统,通过统计用户冷量的使用情况,以时间型能量计费方式进行电费分摊,但中央空调室内机数量众多,温控器的成本会有所增加。申伟刚等^[7]利用电能表,网关,电流互感器,计费软件完成分户计费系统。该系统通过分户计费软件,按照计费网关中信息对电费进行分摊。但该模式需要增加许多额外的电流互感器,而且该计费算法较复杂。

针对上述问题与不足,本文基于嵌入式平台完成控制管理功能,利用 FPGA 解决通信实时性和控制数量上存在取舍问题,以分户计费的模式完成分摊计费功能。使用结果表明,系统不仅拥有远程控制的功能,同时也具备分摊计费功能。该系统具备实时性好,控制数量多,计费功能精准,可跨平台使用等特点,也为中央空调的控制管理提出了一套的功能齐全的解决方案。

1 系统总体方案

21 世纪以来,随着电子技术的发展,嵌入式系统在控制领域发挥着越来越广泛的应用^[8]。嵌入式系统以其体积小、功耗低、集成度高、稳定性好,功能强大等特点,能够很好地满足当前控制系统的要求。ARM 处理器凭借其高性能、低功耗、低成本等优点,已成为目前嵌入式微处理器中应用最为广泛的一个系列^[9]。

该系统在网络架构模式上采用了 B/S 架构,无需安装客户端软件,可直接在 Web 浏览器中使用^[10]。该系统总体方案架构如图 1 所示。管理员利用 Web 浏览器实现空调状态信息的获取及控制指令的下发。Web 浏览器通过 IP 地址向 Web 服务器发送 HTTP 请求并加载 Web 页面。Web 服务器将来自于 Web 页面的 URL 进行解析,获取参数并处理。嵌入式应用程序根据处理后的指令选择与数据库或者 FPGA 进行数据处理,最后通过 Web 服务器将处理结果返回给 Web 页面。FPGA 将嵌入式应用程序下发的指令通过 RS485 总线发送给相应的空调设备实现设备的控制、信息查询等功能。

2 硬件设计

该系统采用的是基于嵌入式平台的 ARM+FPGA 架

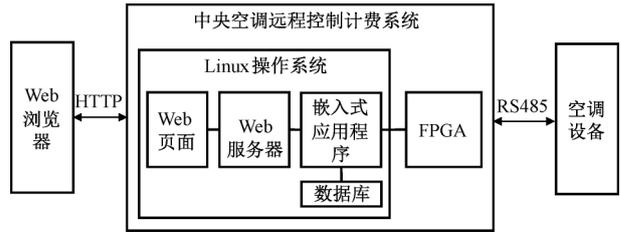


图 1 系统总体架构

构。图 2 为该系统硬件结构,图 3 为该系统的实物。该系统主要以 TI 公司的 ARM437x 微控制器, Intel 公司的 EP4CE10F17 芯片为核心进行硬件设计。ARM 和 FPGA 通过内部总线 GPMC 进行互联,完成 ARM 和 FPGA 之间的通信。在 FPGA 上使用硬件描述语言实现 16 个独立的 RS485 接口逻辑,拓展出 16 个用于和空调室内外机进行通信 RS485 串口电路^[11]。在此基础上还添加了为确保系统时间稳定的时钟模块、用于 Linux 内核的移植和应用软件升级的 USB 接口电路、用于设备调试信息输出的 RS232 接口电路、用于和楼宇控制功能拓展的 ModBus 接口电路、以及用于网路通信的以太网口。

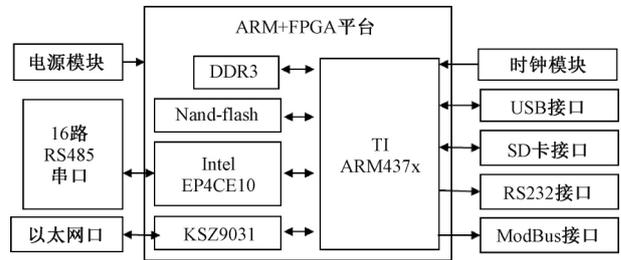


图 2 系统硬件结构

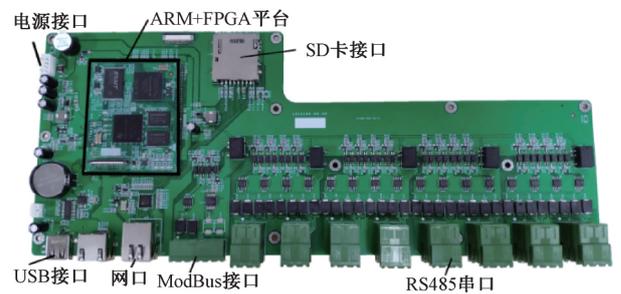


图 3 系统实物

3 软件设计

该系统在进行空调状态显示、远程控制等功能的同时,还完善了空调外机电费分摊计算的功能。因此该系统需要获取所有房间空调室内机的实时运行状况、空调外机的实时运行状况、空调外机实时电表数据等信息。同时该系统可以发送控制指令,控制每个房间里空调室内机。基于上述功能需求,将整个系统按照通信流程划分为如图 4 所示的显示控制,数据解析,指令处理 3 层结构。

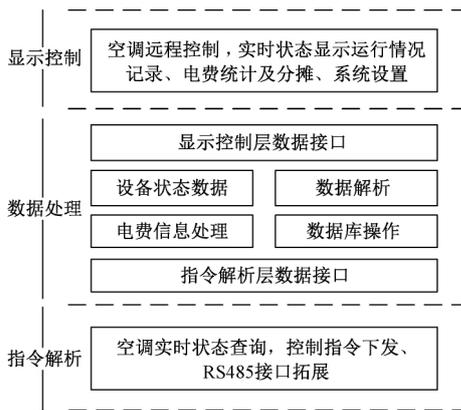


图 4 系统软件架构

3.1 显示控制层

显示控制层主要实现空调内外机运行状态的显示、控制指令的下发、故障信息的提示、系统参数的设置、空调使用时长及电费信息的显示等功能。该系统的显示控制层 Web 页面的设计主要使用 HTML+CSS 实现, Web 页面的请求机制使用 Ajax 异步通信机制^[12]。该系统的显示控制层主要由如图 5 所示的 8 个功能模块所组成, 各个模块皆有相应的二级子菜单, 每个子菜单负责更加详细具体的功能。



图 5 系统 Web 端结构

3.2 数据处理层

在数据处理层,对显示控制层提供需要显示的数据,及控制指令的下发;对指令解析层,接收并解析采集到的数据,发送控制指令;自身也需要实现电费数据的查询和存储。

本文系统主要使用 Web 服务器对显示控制层的 Web 页面提供所需要的数据。因此在 Web 服务器的选型上,选用了性能强劲的 APPWEB 服务器,它具有安全性高,可靠性好,性能强悍,资源占用少等特点,被广泛的应用于嵌入式 Web 领域^[13]。

当管理员在 Web 浏览器中发出 URL 请求后, Web 服务器提取该请求中的参数。当该参数为一个普通的文件名时(如 html 文件), Web 服务器会将文件直接传送给 Web 浏览器,实现页面之间的跳转。当该参数是一个 CGI 应用程序时,如图 6 所示, Web 服务器会激活这个 CGI 应用程序并执行,然后将执行后的结果通过 Web 服务器发送给 Web 浏览器。

在数据处理层主要利用嵌入式应用程序对来自指令解析层的数据进行处理。图 7 为嵌入式应用程序的数据处理

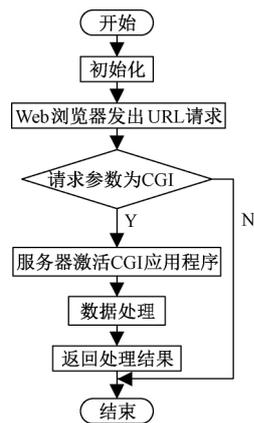


图 6 服务器 CGI 应用程序流程

流程。嵌入式应用程序主要实现数据解析以和电费的分摊计算两个主要功能。一方面嵌入式应用程序将 FPGA 通过 RS485 总线获取到的空调设备信息进行数据处理,将空调设备的实时状态数据写入共享内存中,与 Web 服务器中的 CGI 应用程序进行数据交互,以确保空调设备状态的实时显示。另一方面嵌入式应用程序将获取到的空调外机的电表信息根据当前时刻空调室内机的运行状态将产生的电量分摊到每台内机上,并将计算结果存储到数据库中。

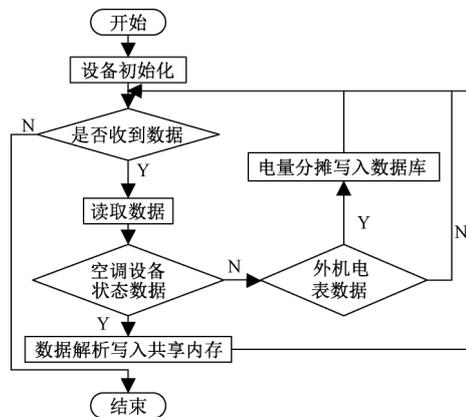


图 7 嵌入式应用程序流程

在数据处理层还有一部分工作就是嵌入式应用程序对数据库的查询以及对电费分摊信息的存储。在此选取了轻量级数据库 SQLite 进行系统信息和电费信息的存储。它是一个小型的 C 程序库,对嵌入式设备的适配性极好,具有体积小、功能强、开源免费等特点,而且它不需要独立运行数据库引擎,可在 C 语言程序中直接调用相应的 API 函数就可以完成数据的修改存取等操作^[14]。

如图 8 所示,在电费信息的计算存储上设计出如下数据表进行操作。iac 是空调内机信息存储表, user 为业主信息记录表,通过 distribution 建立业主和其所属内机之间的绑定关系。将每天每台内机的电量消耗信息和电费信息按小时统计写入 day_bill 表中。在 0 点时刻将在 day_bill 表上建立的数据视图 day_bill_sum_view 中的归并结果写入

stati_bill 表中进行存储,同时清空 day_bill 数据表。在查询业主电费信息时将 user、stati_bill、distribution 三张表通过 SQL 语句连接查询即可。

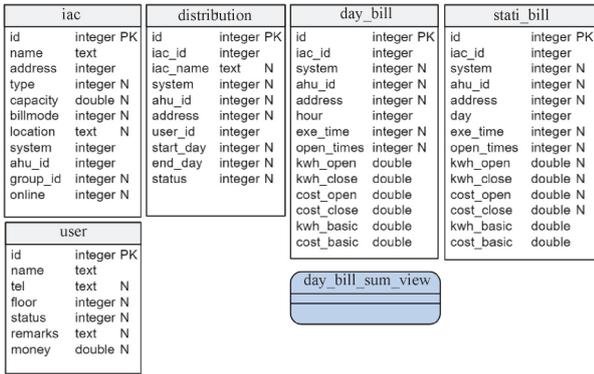


图 8 数据库计费算法 E-R 图

3.3 指令解析层

在指令解析层,一方面嵌入式应用程序将 Web 端下发的指令发送给 FPGA。FPGA 进行解析,并将解析结果通过 RS485 串口发送给相应的空调设备,然后将返回结果通过 ARM 传给嵌入式应用程序,以达到从 Web 端进行远程控制的功能。另一方面 FPGA 自身不间断的向空调设备发送运行状态,电表信息等查询指令。并将返回的信息传递给嵌入式应用程序,进行电量分摊,电费计算。

4 计费算法设计

分户计费策略中的计费算法主要有冷冻水计量法,电费计量法,时间型计量法,能量计量法,谐波反应法等^[15]。其中冷冻水计量法又分为水流量和水温度计量法,两种方法各有利弊,计算方法复杂。电费计量法是按照用户用电比例进行分摊,而商业写字楼中用户的电费既包含常用电器电量和空调室内机电量无法直接计算空调室内机的使用电量。时间型计量法通过数据采集器统计运行时间,按照业主运行时间分配下去,这种方法往往需要添加额外的数据采集设备进行计算。能量计量法通过传热原理进行量化计算,但该方法不适用于旧系统,通用性不强。谐波反应法适用于室内热源变化不大的场所,适用性低^[16]。

在此基础上改良了时间型计量法的计费方式,改良后的算法的适用场景及原理如下:

从设备启动初始化后,FPGA 一直都在进行着空调外机电表和空调内机信息的查询任务。在此可以将空调外机相邻的两次电表信息之差作为当前时刻空调外机消耗的电量。因此改良后的计费算法可以取消之前算法所需的额外的数据采集设备,从软件设计上实现数据采集任务。

在该计费算法中将电量分为待机电量和运行电量进行计算。在空调外机运行过程中,若当前时刻该空调外机携带的内机全部处于关机状态,那么当前时刻空调内机分摊的电量为 $Q_{待}$,其计算公式如下:

$$Q_{待} = \frac{Q_{总}}{n_{总}} \quad (1)$$

式中: $Q_{总}$ 为当前时刻空调外机消耗的总电量; $n_{总}$ 为当前时刻该空调外机带载的空调内机总数量。

若当前时刻有空调内机处于开机状态,那么该时刻空调内机分摊的电量为 $Q_{运}$,其计算公式如下:

$$Q_{运} = \frac{W}{W_{总}} Q_{总} \quad (2)$$

式中: $Q_{总}$ 为当前时刻空调外机消耗的总电量; W 为该空调内机的功率; $W_{总}$ 为当前时刻该空调外机带载的且处于开机状态下空调内机的功率和。

则每台空调内机所分摊的电量 $Q_{分}$ 的计算公式如下:

$$Q_{分} = Q_{待} + Q_{运} \quad (3)$$

该计费算法的具体实现流程如图 9 所示。FPGA 一直通过 RS485 串口向空调内机发送查询指令。嵌入式应用程序解析空调设备返回的数据,将当前时刻空调外机消耗的电量,按照待机电量和运行电量进行划分,然后将每台空调内机分摊的电量分别写入数据库中。

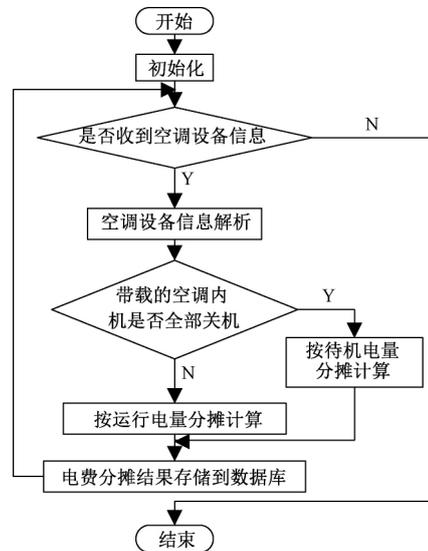


图 9 计费算法流程

5 系统测试

5.1 远程控制功能测试

在 Web 浏览器中,登录中央空调远程控制计费系统。如图 10 所示,在 Web 端设备监控页面中选择设备地址为 N-1-0-0 的空调室内机进行测试。测试前空调状态为:制冷模式,中风,26℃。

在页面选中设备,发送相应的控制指令为:送风模式,低风,29℃。页面指令发送完成后空调运行状态也变为相应设定的模式如图 11 所示。

上述测试表明,在发送完控制指令后,Web 页面上和实际现场设备的状态保持一致,远程控制功能准确可靠,远程监控功能响应速度及时。

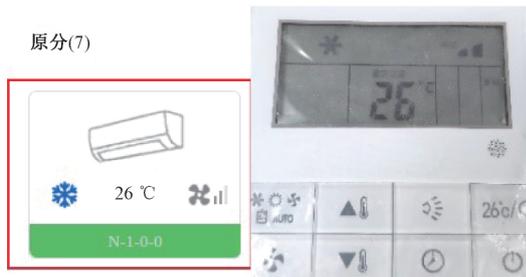


图10 功能设定前

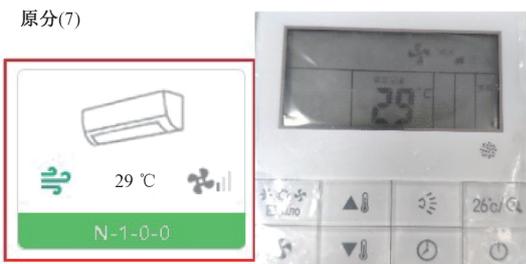


图11 功能设定后

5.2 计费功能测试

本文系统在实际使用过程中,每台空调室外机实时消耗的电量,已经全部按照当前空调室内机的开关机状态与实际功率分摊,存储于数据库中。为验证该系统的计费功能的准确性,该测试以中央空调室外机的电表统计的电量为基准,把分摊的电量按照所属外机电表进行统计,将基准值和统计值进行比较。

该测试地点为写字楼,该写字楼在实际环境下只连接了0号,2号两个端口,其中0号端口负载3个空调室外机机组,2号端口负载4个空调室外机机组,每个室外机分别安装有电能表。该系统共负载空调室内机85台,其中部分空调室内机尚未全部投入使用。

如表1所示,该表记录该写字楼中央空调7月的电量数据。其中电表编号为各空调室外机所接的电表序号;电表统计电量为7月的31天中电表统计空调室外机所消耗的电量;分摊统计电量为空调室内机将空调室外机所消耗的电量经系统分摊后,再按照外机电表进行统计的电量;绝对误差为分摊统计电量和实际统计电量之差的绝对值;相对误差为绝对误差所占电表统计电量的百分比。

表1 电量统计对比结果

电表编号	电表统计电量/kWh	分摊统计电量/kWh	绝对误差	相对误差/%
W-0-0-0	202.49	201.865686	0.624314	0.31
W-0-1-0	3201.30	3198.27732	3.02268	0.09
W-0-2-0	2270.99	2268.52650	2.46350	0.11
W-2-0-0	1380.05	1379.03976	1.01024	0.07
W-2-1-0	2668.76	2666.14002	2.61998	0.10
W-2-2-0	2575.11	2572.26746	2.84254	0.11
W-2-3-0	2243.17	2241.26558	1.90442	0.09

由表1中数据可看出,该系统计费功能在实际使用过程中存在误差,相对误差均在0.5%以下,误差值较小。在实际使用过程中难免存在误差。一方面电量分摊是按比例进行分摊的,在计算过程中,在数据精度上会有计算损失。另一方面实际使用中系统时刻处于运行状态,在整点统计时会存在这数据延时。在实际使用中误差不可避免,由上述数据可以看出,误差数据较小,在合理范围内,同时也验证了计费系统的可靠性。

该改良后的计费算法,相较于前人的计费方案,在硬件上进行优化,利用FPGA并行数据处理的特点,在拓展接口数量的同时可保证设备信息的实时性,时刻对室外机电表示数和室内机状态进行查询。在软件上通过统计当前室内机的运行时间,来分配室外机消耗的电量,相较于之前的方案取消额外的数据采集设备。在算法上,以室内机的功率和运行时间两个维度进行电量分摊计费,统计方式简单准确。但该计费算法依然存在不足,空调内机的电量消耗依然需要考虑空调的运行状态,运行模式,温度设

定等方面,这也是后续的重点研究内容

6 结 论

本文从硬件设计、软件设计、计费算法的设计3个方面,详细地阐述了中央空调远程控制计费系统的实现过程。硬件上利用嵌入式平台和FPGA的优势,在处理速度不变的情况下将可接入设备的数量提高至4096台。软件上在嵌入式Linux操作系统的基础上,创新性的使用B/S架构搭配SQLite数据库,实现远程控制监控、计费分摊、电费信息存储等功能。

参考文献

- [1] 高照,胥布工,匡付华,等. 基于OPC的中央空调群控系统设计与实现[J]. 电气传动, 2018, 48(5): 43-48.
- [2] 覃芳. 中央空调控制系统的设计与实现[D]. 长沙:湖南大学, 2016.
- [3] 张超. 嵌入式中央空调智能控制系统的设计[D]. 广州:华南理工大学, 2010.

- [4] 郑珊珊. 基于 ARM+Linux 的中央空调集中控制系统的研究[J]. 科技创新导报, 2012(10): 6.
- [5] 周利黔,王路安,王梦宇. 新型中央空调控制系统设计[J]. 自动化仪表, 2020, 41(1): 65-68.
- [6] 刘国文,刘军德. ZigBee 技术的中央空调冷量计量计费系统设计[J]. 自动化仪表, 2013, 34(4): 47-49.
- [7] 申伟刚,牟桂贤,刁作清. 基于中央空调的分户计费系统设计[J]. 工业技术创新, 2016, 3(6): 1135-1137.
- [8] 高尚飞,沙立民,林天柱. 中央空调系统智能控制方案设计[J]. 电子测量技术, 2011,34(2): 54-56.
- [9] 吴斌. 基于 ARM 的嵌入式机房空调远程控制系统设计[D]. 南京:南京理工大学, 2015.
- [10] 刘玉建. 中央空调嵌入式监控系统设计[D]. 济南:山东大学, 2012.
- [11] 孔德飞. 中央空调远程维护网络系统的硬件设计[D]. 广州:华南理工大学, 2011.
- [12] 樊丹丹,于慧勇,刘晨. 基于 B/S 架构的试验数据管理系统设计与实现[J]. 电子测量技术, 2018, 41(10): 50-54.
- [13] 严程. 基于 APPWEB 的设备管理系统设计与实现[D]. 北京:北京交通大学, 2016.
- [14] 习振华,刘映杰,陶维维,等. SQLite 在无线数据采集系统中的应用[J]. 电子测量技术, 2011, 34(3): 117-121.
- [15] 李晓凤,张朝伟. 浅谈中央空调系统计费方式[J]. 机电信息, 2015(30): 178-179.
- [16] 王志成,辛洁晴,管国兵. 中央空调节费运行方案及其适用性分析[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(3): 126-131.

作者简介

黄永旺,硕士研究生,主要研究方向为嵌入式系统。

E-mail:hyw33666@163.com